

USO DE LA BIORREMEDIACIÓN EN LA MINERÍA DE CARBÓN.

Uso de la Biorremediación en Suelos Degradados por la Minería De Carbón

Alejandra María Silva Barrera

Universidad Militar Nueva Granada

Noviembre 19 de 2019

Notas de Autor:

La correspondencia relacionada con este proyecto debe ser dirigida a: Alejandra María Silva Barrera, Especialización en Planeación Ambiental y Manejo Integral de Recursos Naturales, Universidad Militar Nueva Granada, Facultad de Ingeniería, Cra 11 N° 101-80 Bogotá, Cundinamarca.

Contacto: U2700943@unimilitar.edu.co

USO DE LA BIORREMEDIACIÓN EN LA MINERÍA DE CARBÓN.

USO DE LA BIORREMEDIACIÓN EN SUELOS DEGRADADOS POR LA MINERÍA DE CARBÓN.

USE OF BIOREMEDIATION DEGRADED SOILS BY COAL MINING.

Alejandra María Silva Barrera
 Bióloga, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia
 Consultor y Asesor Ambiental
 U2700943@unimilitar.edu.co

Artículo de Investigación

DIRECTOR

Ph.D. Ximena Lucía Pedraza Nájjar

Doctora en Administración – Universidad de Celaya (México)
 Magíster en Calidad y Gestión Integral – Universidad Santo Tomás e Icontec
 Especialista en gestión de la producción, la calidad y la tecnología - Universidad Politécnica
 de Madrid (España)
 Especialista en gerencia de procesos, calidad e innovación – Universidad EAN (Bogotá D.C.)
 Microbióloga Industrial – Pontifica Universidad Javeriana
 Auditor de certificación: sistemas de gestión y de producto

 Gestora Especialización en Gerencia de la Calidad - Universidad Militar Nueva Granada
 ximena.pedraza@unimilitar.edu.co; gerencia.calidad@unimilitar.edu.co



La U
acreditada
 para todos

**ESPECIALIZACIÓN EN PLANEACIÓN AMBIENTAL Y MANEJO INTEGRAL DE
 RECURSOS NATURALES
 UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 NOVIEMBRE DE 2019**

USO DE LA BIORREMEDIACIÓN EN LA MINERÍA DE CARBÓN.

USO DE LA BIORREMEDIACIÓN EN SUELOS DEGRADADOS POR LA MINERÍA DE CARBÓN.

USE OF BIOREMEDIATION DEGRADED SOILS BY COAL MINING.

Alejandra María Silva Barrera
Bióloga, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia
Consultor y Asesor Ambiental
U2700943@unimilitar.edu.co

RESUMEN

La minería de carbón por la disposición de material estéril también llamado tecnosoles traen consecuencias negativas sobre el medio ambiente, entre estas la degradación del suelo y la alteración drástica del paisaje, por lo tanto, es necesario la caracterización y la restauración ecológica de este recurso. En estas páginas se presenta una revisión de artículos sobre la caracterización y biorremediación de los suelos afectados por la minería mediante microorganismos para la restauración ecológica de áreas afectadas. La metodología que se usó corresponde a tipo descriptivo mediante la búsqueda de la información por palabras claves. Se encontraron estrategias de biorremediación que involucran microorganismos principalmente en el sector de hidrocarburos y otros útiles en la agricultura como bioestimuladores de crecimiento vegetal, que probablemente, puedan ser aplicados en la minería de carbón en la rehabilitación del recurso suelo.

Palabras claves: biorremediación, carbón, degradación, estériles, minería, remediación, suelo.

ABSTRACT

Coal mining due to the disposition of sterile material also called technosols brings negative consequences on the environment, among them the degradation of the soil and the drastic alteration of the landscape, therefore, the characterization and ecological restoration of this resource is necessary. These pages present a review of articles on the characterization and bioremediation of soils affected by mining through microorganisms for the ecological restoration of affected areas. The methodology used corresponds to a descriptive type by searching for information by keywords. Bioremediation strategies were found that involve microorganisms mainly in the hydrocarbon sector and other useful ones in agriculture such as plant growth biostimulators that can probably be applied in coal mining in the rehabilitation of the soil resource.

Keywords: bioremediation, coal, degradation, mining, remediation, sterile, soil.

USO DE LA BIORREMEDIACIÓN EN LA MINERÍA DE CARBÓN.

INTRODUCCIÓN

La modificación del paisaje por las actividades de extracción por la remoción de la cobertura vegetal, la disposición de material estéril en los lugares aledaños al punto de explotación y la alteración de la composición físico química y biológica del suelo, degradan este recurso, lo cual evita el crecimiento de plantas que contribuyan a la rehabilitación del suelo.

Una vez terminadas las labores mineras por la disminución de las reservas se tiene la responsabilidad del cierre y abandono de la mina, pero desafortunadamente la mayoría de titulares no lo hace, provocando un daño ambiental al no contribuir en la rehabilitación del recurso suelo, para que en un futuro haya la probabilidad de que sea poblado nuevamente por vegetación que permita el asentamiento de fauna y contribuir en la formación de un ecosistema como lo era antes de la intervención antrópica.

El desconocimiento de tratamientos de tipo biológico que contribuyan a la rehabilitación del suelo degradado hace menos probable su recuperación luego de las labores mineras que se ejecuten a largo plazo en un área determinada.

Se realizó una investigación de tipo descriptiva, mediante la revisión secundaria de diversas fuentes bibliográficas que permitieron contextualizar la problemática ambiental del recurso suelo principalmente por la disposición de material estéril o tecnosol, por lo tanto, se propone una alternativa de biorremediación para la posterior recuperación de este recurso, en búsqueda de la conservación de los ecosistemas una vez se realiza el término de las labores mineras.

MATERIALES Y MÉTODOS

La degradación del suelo en Colombia y la minería de Carbón

Las actividades extractivas, principalmente las vinculadas al sector minero-energético tienen una participación importante en el desarrollo económico del país; a su vez con la extracción

USO DE LA BIORREMEDIACIÓN EN LA MINERÍA DE CARBÓN.

de recursos naturales se han generado algunas problemáticas de índole ambiental y social, por lo cual se busca que se haga de manera sostenible teniendo en cuenta aspectos ambientales.

El carbón mineral o carbón es un sedimento orgánico constituido por restos vegetales transformados durante la diagénesis y/o el metamorfismo. El periodo geológico de mayor formación de este combustible fósil es el Carbonífero (360-290 Millones de años (Ma), aunque existen yacimientos que se formaron en el intervalo comprendido entre los periodos del Pérmico y Paleógeno medio (290-52 Ma). (Ilaniszewski, 2005).

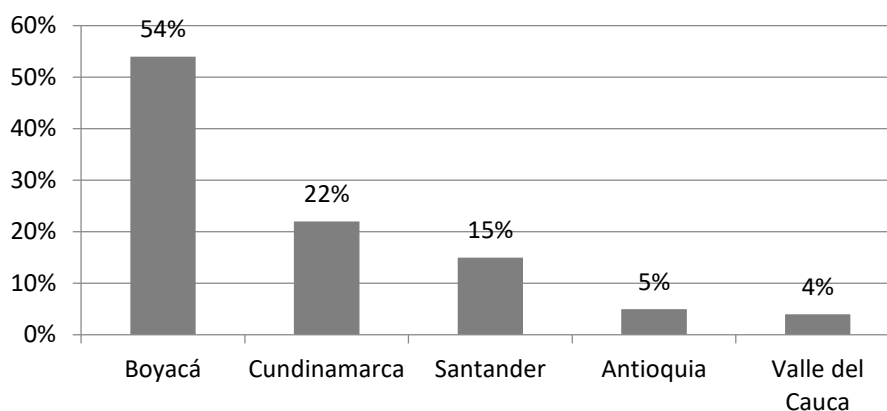
A partir de la Revolución Industrial, y con el desarrollo de máquinas de vapor, el comercio del carbón se disparó, abriéndose minas en Inglaterra y el resto de Europa, EEUU, Japón y Australia. A principios del siglo XX la minería subterránea seguía evolucionando con pozos verticales más profundos y empezó la explotación de minas a cielo abierto, que abarataba los costos. En el año 2009, se extrajeron 3.408 Millones de toneladas (Mt) en el mundo, de las cuales el 60% se hizo en minas subterráneas y desde entonces hasta la actualidad es el segundo recurso energético en producción de energía primaria del mundo por detrás del petróleo (Bian *et al.*, 2010; BP, 2010).

El carbón colombiano es uno de los más demandados en el mundo, por tener bajo contenido de cenizas y azufre; y por ser alto en volátiles y en valor calorífico. Así mismo; el carbón es muy representativo para la economía colombiana ya que tiene una participación del 55% del PIB minero.

De acuerdo con las extracciones de minerales censadas (14.357), el 63% no cuenta con título minero. Los departamentos de mayor extracción de Carbón en Colombia son (Grafica 1) Boyacá, con el 54% de todas las extracciones del país (70% con título minero), seguido por Cundinamarca con el 22% (50% con título minero), Norte de Santander con el 15% (65% con

USO DE LA BIORREMEDIACIÓN EN LA MINERÍA DE CARBÓN.

título minero), Antioquia con el 5% (27% con título minero) y Valle del Cauca con el 4% (9% con título minero). (IPBES, 2019).



Gráfica 1. Departamentos con mayor extracción de Carbón en Colombia (IPBES, 2019)

Problemas ambientales generados por la minería del carbón

Dentro de los problemas ambientales que se generan producto de la extracción de minerales preciosos e hidrocarburos en el país, se encuentran la deforestación, la contaminación de fuentes hídricas y degradación del suelo, entre otros.

El suelo es considerado un medio natural, complejo y dinámico en constante evolución, soporte de la vida vegetal y animal del planeta Tierra. Los suelos se forman a partir de la descomposición de las rocas por la acción de factores medioambientales como el clima (precipitación y temperatura), el relieve, la vegetación y los depósitos de materiales transportados.

A pesar de que los problemas de degradación irreversible de suelos y de pérdida de productividad son conocidos desde la antigüedad, a menudo se sigue pensando a los suelos como un recurso renovable, pero, la mayoría de los procesos de degradación de suelos distan de ser reversibles. Ejemplos concretos de degradación irreversible de suelos son las pérdidas por erosión que causan decapitación de los horizontes superficiales que poseen la mayor parte de la materia orgánica y de los nutrientes vegetales, o de salinización en suelos bajo riego. (Casas & Albarracín, 2015).

USO DE LA BIORREMEDIACIÓN EN LA MINERÍA DE CARBÓN.

Se presenta en la Figura 1 un esquema teórico de la evolución de los conocimientos de los suelos, desde los primeros sistemas de clasificación y su taxonomía surgiendo la implementación de prácticas de conservación, dado el reconocimiento de que los ciclos biogeoquímicos que ocurren en la superficie de la Tierra influyen el cambio climático global, la degradación y remediación de tierras, el destino y transporte de nutrientes y contaminantes, la conservación del suelo y el agua, el abastecimiento y la seguridad alimentaria, la capacidad de soporte global, la función de los humedales, y muchos otros aspectos pertinentes al manejo y a la conservación de los recursos de tierras y aguas (Science, 2004)

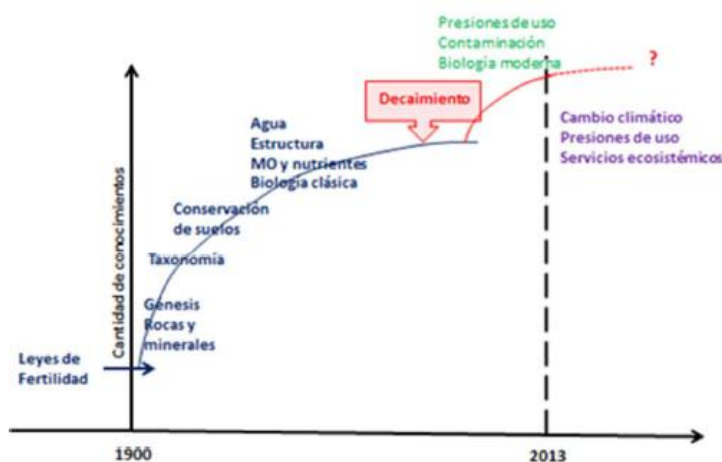


Figura 1. Evolución Teórica de los conocimientos de los suelos (Brutti, Salamone, & Beltran, 2018)

Se considera que en los próximos 30 a 50 años el principal desafío global será incrementar la productividad agropecuaria para alimentar a una población mundial en aumento, atendiendo a su vez a los crecientes problemas de degradación y contaminación de suelos, aguas y atmósfera. Este desafío será intensificado por el cambio climático, la escasez de agua, la degradación de las tierras, la seguridad energética, y las diferencias ideológicas sobre cómo mejorar la seguridad alimentaria en todo el mundo (IAASTD, 2009)

USO DE LA BIORREMEDIACIÓN EN LA MINERÍA DE CARBÓN.

La generación de frentes de explotación y la acumulación de materiales estériles que se extraen para poder acceder a las capas productivas es un problema general que afecta a todo tipo de minería. Ambas operaciones suponen un impacto visual de la zona en explotación y la pérdida de este terreno, de su suelo y su cobertura vegetal, lo que provoca problemas de erosión hídrica y eólica (Loredo, 2010).

Es importante resaltar que las escombreras o tecnocoles (FAO, 2006) son el resultado de la acumulación de estériles o material extraído de la minería con poco valor comercial debido a que no han sufrido procesos edafogénicos. Las características generales de estos tecnosoloses de la minería del carbón son: pH ácido, bajo contenido en materia orgánica, baja capacidad de intercambio catiónico y disponibilidad de nutrientes, baja capacidad de retención de agua, baja producción de biomasa, alta densidad y pedregosidad elevada (Marcos, 2012).

El movimiento de tierras destruye la estructura del suelo generando superficies donde se mezclan horizontes removidos y estériles, lo que modifica la textura y granulometría y afecta directamente a la retención de agua y al desarrollo de las raíces de las plantas (Arranz Gonzalez, 2004)

“El impacto visual también es latente debido a que estas escombreras se sitúan en zonas accesibles, de mucha visibilidad, con un fuerte contraste con el paisaje circundante, produciendo, en resumen, un gran impacto paisajístico” (Loredo, 2010)

Biorremediación

En suelos, la biorremediación consiste en la descontaminación por medio de los microorganismos, ya que, debido a la capacidad degradadora que tengan, se van a llevar a cabo distintos procesos. Los microorganismos emplean los compuestos contaminantes como sustrato o alimento, con el fin de transformarlo en productos inocuos (Vila, 2014) .

USO DE LA BIORREMEDIACIÓN EN LA MINERÍA DE CARBÓN.

Dentro de la afectación biológica de los suelos destaca la reducción del potencial de los simbiontes microbianos mutualistas que son factores ecológicos claves en el ciclo de nutrientes y en el sostenimiento de la cobertura vegetal en los ecosistemas naturales. Entre estos simbiontes se distinguen los hongos micorrizicos arbusculares (HMA). Estos hongos, no solo han sido empleados como herramientas para la propagación de especies por sus bien conocidos beneficios sobre el crecimiento de las plantas, sino que también han servido como indicadores de la recuperación de algunos atributos del ecosistema, como lo son las interacciones biológicas críticas para la función a largo plazo de un ecosistema restaurado (Fajardo, Cuenca, & Arrindell, 2011).

Todo lo expuesto genera lo que se denomina pasivos ambientales que se definen como zonas donde se evidencia la necesidad de realizar una restauración por un impacto ambiental que ha sido derivado de una actividad extractiva o minera, que pone en riesgo la calidad de vida, la salud o los bienes públicos o privados (Arramburo & Olaya, 2012).

En Colombia, se ha evidenciado la necesidad de implementar el concepto de pasivos ambientales debido a la antigüedad y prevalencia que tienen las actividades extractivas en el país, aun cuando la Ley 685/2001 reglamenta el cierre de minas; pero, a causa del escaso seguimiento de las autoridades competentes, no se realiza. (Ministerio de Minas y Energia, 2001)

Metodología

El presente estudio es de carácter descriptivo, se basa en una recopilación de información secundaria conformada por la revisión de referencias bibliográficas como artículos científicos, libros, publicaciones de minería, páginas web de la agencia nacional de minería etc., que contribuya en la rehabilitación del recurso suelo, utilizando la biorremediación como posible solución a la problemática ambiental.

USO DE LA BIORREMEDIACIÓN EN LA MINERÍA DE CARBÓN.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se encontraron estrategias de biorremediación que involucran microorganismos principalmente en el sector de hidrocarburos con poca información en recuperación de suelos donde se ha dispuesto material estéril, como es en la minería de carbón y que probablemente puedan ser aplicados a este tipo problema.

La rehabilitación de suelos contaminados con petróleo y el tratamiento de los diversos residuos que produce la actividad petrolera, aplicando el tratamiento de biorremediación por estimulación asistida de la actividad hidrocarburo lítica de los microorganismos nativos, ha demostrado ser un método ecológicamente sustentable que minimiza el compromiso ambiental que originan otros métodos de restauración y tratamiento. (Altamirano & Pozzo, 2000)

La biorremediación de suelos por landfarming, que en algunos casos puede ser asistida con bioaumentación, es un proceso que básicamente implica incrementar drásticamente la masa microbiana del suelo mediante la adición de nutrientes o de microorganismos procedentes de cultivos obtenidos mediante la multiplicación en biorreactores de los microorganismos autóctonos.

Los microorganismos se obtienen del suelo contaminado del lugar, en laboratorio se seleccionan los consorcios microbianos más adecuados según la tolerancia a sustancias inhibidoras, a la salinidad y a su capacidad de degradación de hidrocarburos (IRAM, 2010).

Se hallan propuestas enfocadas en realizar la caracterización de comunidades de bacterias y arqueas que se forman en ambientes impactados por efecto de la minería, pues permiten obtener información sobre los impactos causados en el entorno por su resistencia y aumento de diversidad en estas condiciones.

Actualmente en países como Costa Rica, se ha implementado la inoculación de bacterias estimuladores del crecimiento de la microbiota del suelo principalmente en cultivos, caracterizados

USO DE LA BIORREMEDIACIÓN EN LA MINERÍA DE CARBÓN.

por consorcios de bacterias facultativas que bajo un tratamiento previo del suelo afectado se procedería a la inoculación de bacterias como *Azospirillum brasilense*, *Bacillus licheniformis*, *Saccharomyces cerevisiae*; (KALA CLEAN, 2019) con múltiples beneficios como bioestimulantes de crecimiento vegetal, aumento de la solubilización de fósforo y la fijación de nitrógeno, lo cual facilitaría el crecimiento de herbáceas como primera etapa de rehabilitación de la capa vegetal; además estimula el desarrollo de las raíces y el crecimiento de plantas más saludables, contribuyendo a la recuperación de tecnosoles devolviendo la productividad de la capa orgánica del suelo.

Además se encontró la publicación de varios trabajos hechos para la biorremediación de metales pesados como plomo, cadmio, mercurio entre otros (Sanchez & Pozzo, 2002)

CONCLUSIONES

En la restauración ecológica hay que tener muy en cuenta que las funciones del suelo deben integrar propiedades físicas, químicas y biológicas, este conocimiento resulta en el manejo exitoso de la restauración.

La biorremediación permite investigar microorganismos asociados a un tipo de hábitat específico como lo es el suelo afectado por residuos de minería o tecnosoles; permitiendo de esta manera buscar alternativas de recuperación del suelo una vez se haya terminado la etapa de labores en una mina de carbón.

Uno de los tipos de microorganismos potenciales para la recuperación de suelos tecnosoles son el grupo de las micorrizas, ya que permitirían el crecimiento de la capa vegetal, siempre y cuando se mantengan las condiciones requeridas para un suelo fértil.

Además del proceso establecido en las guías mineroambientales por la Agencia Nacional de Minería y el Ministerio del Medio Ambiente, para el proceso de cierre y abandono de las labores

USO DE LA BIORREMEDIACIÓN EN LA MINERÍA DE CARBÓN.

mineras, es importante complementar con el proceso de biorremediación para estimular el crecimiento de la microbiota del suelo y rehabilitar la cobertura vegetal, con procesos posteriores como la reforestación de especies nativas, permitiendo de ésta manera la restauración de ecosistemas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Altamirano, M., & Pozzo, M. (2000). Aislamiento e identificación de bacterias provenientes de un suelo sometido a biorremediación. En U. N. Comahue, *Instituto universitario de ciencias de la Salud*.
- Arramburo, M., & Olaya, Y. (2012). *Problemática de los pasivos ambientales mineros en Colombia*. Recuperado el 10 de 9 de 2019, de Gestión y Ambiente: <http://www.bdigital.unal.edu.co/35847/1/36286-151120-1-pb.pdf>
- Arranz Gonzalez, J. C. (2004). Propiedades, Clasificación y evaluación del suelo. Implicaciones sobre la Ordenación y Gestión de Terrenos Alterados por la Minería. *Tesis*, 457. Madrid, España.
- Brutti, L., Salamone, i. G., & Beltran, M. (2018). Biorremediación de los recursos naturales. En L. Brutti, I. Garcia de Salamone, & M. Beltran, *Biorremediación de los recursos naturales* (págs. ISBN 978-987-521-911-3). Buenos Aires: INTA.
- Casas, R., & Albarracín, M. (2015). *El deterioro del suelo y del ambiente en la Argentina*. Buenos Aires: FECIC.
- CGR, C. G. (2018). *Informe sobre el Estado de los Recursos Naturales y el Ambiente*. Bogotá: CGR.
- EOT. (2 de julio de 2019). *Esquema de ordenamiento territorial*. Recuperado el 12 de 08 de 2019, de <https://drive.google.com/open?id=152Sepw12KtQPjeiMEeqnQ1BsWKj9lwKd>
- Fajardo, L., Cuenca, G., & Arrindell, P. (2011). El uso de hongos micorrizicos arbusculares en las practicas de restauración ecológica. *Interciencia vol 36*, 931-936.
- FAO. (2006). *World reference base for soil resources*. Roma: FAO.
- IAASTD. (2009). Synthesis report with executive summary: a synthesis of the global and subglobal IAASTD reports. *IAASTD*, ISBN 978-1-59726-550-8.
- Ianiszewski, J. (2005). *El carbón: combustible mortal*. Circulo Astronómico, Ecología. Recuperado el 12 de 08 de 2019, de <http://www.circuloastronomico.cl/energia/carbon.html>

USO DE LA BIORREMEDIACIÓN EN LA MINERÍA DE CARBÓN.

IPBES. (Mayo de 2019). DIAGNÓSTICO DE LA INFORMACIÓN AMBIENTAL Y SOCIAL RESPECTO A LA ACTIVIDAD MINERA Y LA EXTRACCIÓN ILÍCITA DE MINERALES EN EL PAÍS. *Sentencia T 445 de agosto de 2016*. Colombia.

IRAM. (2010). Tratamiento de suelos contaminados con productos y residuos de la industria Hidrocarburífera. Landfarming. En I. 29555-1.

KALA CLEAN. (10 de 10 de 2019). *Bacterias para estimulación de crecimiento*. Obtenido de info.kalaclean@gmail.com

Loredo, J. (2010). Alteración de las características geoquímicas y mineralógicas en la cuenca carbonífera de El Bierzo, derivada de las actividades mineras. *Plan Director de la Restauración Edafopaisajística y Recuperación Ambiental de lo espacios degradados por la Minería de Carbón*. Bienzo, España.

Marcos, M. M. (2012). *Afectación de la minería del carbón en las propiedades físicas y químicas de los suelos de la cuenca hidrográfica del río Rodrigatos (El Bierzo, León)*. Recuperado el 15 de 10 de 2019, de <http://www.semanticscholar.org/paper/Afectaci%C3%B3n-de-la-miner%C3%ADa-del-carb%C3%B3n-en-las-f%C3%ADsicas-Mendieta/b03b8bd443375c55fd966f949e6ec9bd3558f794>

Ministerio de Minas y Energía. (15 de Agosto de 2001). *Ley 685 de 2001*. Recuperado el 6 de 09 de 2019, de http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/leyes/2001/ley_0685_2001.pdf

Sanchez, A., & Pozzo, M. (2002). Bacterias indígenas pobladoras de suelos contaminados con plomo. Aislamiento e identificación. *Ingeniería Sanitaria y Ambiental Vol 60*, 42-46.

Science. (11 de junio de 2004). Soils-The Final Frontier, special issue of Science. *Science*, 304, 27-30.

Vila, e. a. (2014). *Técnicas de biorremediación para el saneamiento del subsuelo*. Obtenido de Técnicas de biorremediación para el saneamiento del subsuelo: <http://www.tema.es/media/articles/revista-pqoctubre.pdf>